

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-063999

(43)Date of publication of application : 10.03.1995

(51)Int.Cl.

G02B 26/08

G01B 7/34

G11B 9/00

H01J 37/28

(21)Application number : 05-213117

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 27.08.1993

(72)Inventor : YAGI TAKAYUKI

YAMAMOTO TOMOKO

AKAIKE MASATAKE

NAKAYAMA MASARU

TAKAGI HIROTSUGU

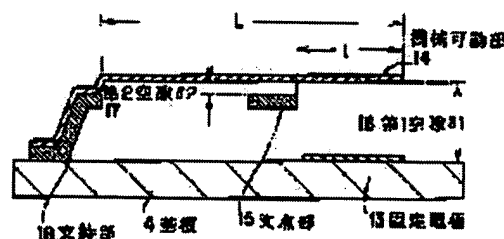
change spring  
constant

(54) ELECTROSTATIC ACTUATOR, ACTUATOR ARRAY, OPTICAL DEFLECTOR AND INFORMATION PROCESSOR PROVIDE WITH THE ELECTROSTATIC ACTUATOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an electrostatic actuator whose dependence on the displacement (or displacing angle) and a voltage is almost linear and capable of setting a wide dynamic range.

CONSTITUTION: A mechanically movable part 14 is provided on a substrate 4 provided with a fixed electrode 13 by means of a supporting part 18 through a first air gap 16 and a fulcrum part 15 as the varying means is arranged on the lower part of the mechanically movable part 14 through a second air gap 17. The mechanically movable part 14 is composed of electrically conductive thin film and has the property of a spring. When a voltage is applied across the mechanically movable part 14 and the fixed electrode 13 through the supporting part 18, the mechanically movable part 14 is displaced toward the substrate 4. By increasing the applied voltage, the mechanically movable part 14 is further deformed, brought into contact with the end surface (upper surface) of the fulcrum part 15 and deformed while being



page 1

supported at the contact position. Namely, the effective length of spring of the mechanically movable part 14 is L under a low voltage. the effective length of spring is shortened to be (1) under the voltage larger than the voltage on which the mechanically movable part 14 is brought into contact with the fulcrum part 15 and the spring constant is changed so as to become larger.

---

#### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-63999

(43)公開日 平成7年(1995)3月10日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 26/08	E	9226-2K		
G 0 1 B 7/34	Z			
G 1 1 B 9/00		9075-5D		
H 0 1 J 37/28	Z			

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平5-213117

(22)出願日 平成5年(1993)8月27日

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 八木 隆行

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(72)発明者 山本 智子

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(72)発明者 赤池 正剛

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(74)代理人 弁理士 若林 忠

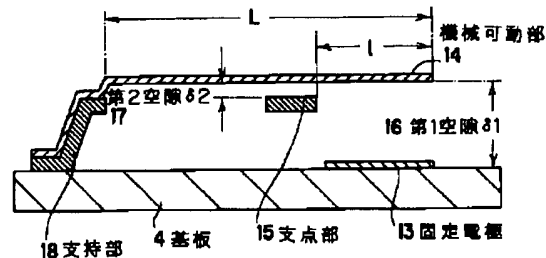
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 静電アクチュエータ、該静電アクチュエータを備えたアクチュエータアレイ、光偏向器および情報処理装置

(57)【要約】

【目的】 変位（または変位角）と電圧との依存性が略線形性を有し、ダイナミックレンジを広く取ることが可能な静電アクチュエータを提供する。

【構成】 固定電極13を設けた基板4上に、支持部18により第1空隙16を介して支持した機械可動部14が設けてあり、第2空隙17を介して可変手段としての支点部15が機械可動部14の下部に配置してある。機械可動部14は電気導電体薄膜からなり、ばね性を有する。支持部18を介して機械可動部14と固定電極13との間に電圧を印加すると、機械可動部14は基板4側に変位する。印加電圧を増すと機械可動部14はさらに変形して支点部15の端面（上面）に接触し、接触位置を支点として変形する。すなわち、低電圧下では機械可動部14の有効ばね長さが（L）であり、機械可動部14が支点部15に接する電圧以上では有効ばね長さが短くなって（l）となり、ばね定数は変化し大きくなる。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 上面に少なくとも一つ以上の固定電極を設けた基板と、該基板上に空隙を介して形成したばね性を有する機械可動部とを有し、前記固定電極に電圧を印加することにより、前記機械可動部を前記固定電極側に空間的に変位させる静電アクチュエータにおいて、前記機械可動部の変位量が増すとそのばね定数を大きくする可変手段を有することを特徴とする静電アクチュエータ。

【請求項2】 前記可変手段が、前記機械可動部の有効ばね長を変化させるものである請求項1に記載の静電アクチュエータ。

【請求項3】 前記可変手段が、前記機械可動部の有効ばね数を変化させるものである請求項1に記載の静電アクチュエータ。

【請求項4】 前記機械可動部が電気導電体薄膜からなる請求項1乃至3のいずれか1項に記載の静電アクチュエータ。

【請求項5】 前記機械可動部が、少なくとも一つ以上のばねと、該ばねの先端部に連結された、前記固定電極に対向して配置した電気導電体薄膜からなる可動電極とで構成されている請求項1乃至3のいずれか1項に記載の静電アクチュエータ。

【請求項6】 前記ばねが撓みビームである請求項5に記載の静電アクチュエータ。

【請求項7】 前記ばねが捻れビームである請求項5に記載の静電アクチュエータ。

【請求項8】 請求項1乃至7のいずれか1項に記載の複数の静電アクチュエータと、制御部と、該制御部からの制御信号に基づいて各々の静電アクチュエータが他の静電アクチュエータとは独立に基板との相対的位置を変えるように変位させるための変位手段とを有するアクチュエータアレイ。

【請求項9】 請求項5乃至7のいずれか1項に記載の静電アクチュエータの可動電極の代りに光偏向板を用いた光偏向器。

【請求項10】 光偏向板がばね上に空隙を介して配置されている請求項9に記載の光偏向器。

【請求項11】 請求項9または10に記載の複数の光偏向器と、画像情報制御部と、該画像情報制御部からの制御信号に基づいて各々の光偏向器が他の光偏向器とは独立に所望の角度に変位させるための変位手段と、該変位手段からの情報に基づいて画像情報を表示する表示部と、を有する情報処理装置。

【請求項12】 請求項1乃至7のいずれか1項に記載の静電アクチュエータにおける機械可動部に設けられた、トンネル電流検出用のプローブと、該プローブと表面観察を行う試料との相対的な位置関係を調節する位置調節手段と、前記プローブと前記試料との間にトンネル電流を発生するための電圧を印加する電圧印加手段と、

2

該電圧印加手段によって電圧を印加したときに前記プローブと前記試料との間に流れるトンネル電流を検出するトンネル電流検出手段と、検出されたトンネル電流から情報を処理し表示させる表示手段と、を有する情報処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、アクチュエータ、特に、マイクロメカニクス技術を用いて作製される、静電引力を用いて変位制御を行う静電アクチュエータ、該静電アクチュエータを備えたアクチュエータアレイ、光偏向器及び情報処理装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、半導体フォトリソプロセスを用いた極めて小型の可動機構を有する微小機械がマイクロメカニクス技術により検討されている。典型的な微小機械としては、ワブルマイクロモーター(M. Mehregany et al., "Operation of microfabricated harmonic and ordinary side-drive motors", Proceedings IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop 1990, p.1-8)や、リニアマイクロアクチュエータ(P. Cheung et al., "Modeling and position-detection of a polysilicon linear microactuator", Micromechanical Sensors, Actuators, and Systems ASME 1991, DS C-Vol. 32, p. 269-278)や、圧電バイモルフカンチレバー(米国特許第4,906,840号)等が提案されている。これらの微小機械は、半導体フォトリソプロセスにより作製され、アレイ化、低コスト化が容易であり、小型化することで高速応答性を期待できる。特に、ワブルマイクロモーターやリニアマイクロアクチュエータ等の静電アクチュエータは、自己変位する圧電バイモルフカンチレバーに比べ、静電引力により外部からの電圧印加にて変位するために、サイズに比して大きな変位を行うことが可能である。また、これら静電アクチュエータは犠牲層を用いて形成するために、圧電バイモルフアクチュエータ作製の際に必要な基板を裏面より除去する工程が不要となり、簡便かつ高精度に小型化することが可能となる。上記静電アクチュエータは基板面内で変位するアクチュエータであるが、基板面に対して上下方向に変位する縦変位の静電アクチュエータも提案されている。縦変位の静電アクチュエータとしては、機械式光学素子である光偏向器において、K.E. Petersen により提案されたシリコンによるTorsional Scanning Mirror (IBM J. RES. DEV. ELOP., Vol. 24, No. 5, 9.1980, p. 631-637)及び片持ち梁の変形によりレーザー光を走査するMicromechanical light modulator array("Dynamic Micromechanics on Silicon Techniques and Devices" IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-25, No. 10, Oct. 1978, p. 1241-1249)がある。

【0003】 光偏向器の表示装置への応用では、可撓梁

3

を有する金属薄膜の反射を用い画素を平面上に複数配置した、M.A. Cadman等により提案されているMicromechanical Display(“New Micromechanical Display Using Thin Metallic films” IEEE Electron Device Letters, Vol. EDL-4, 1983, pp3-4)、L.J. Hornbeckによる空間光変調器(特開平2-8812号参照)、R.N. Thomas等により提案されているMirror Matrix Tube (IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-22, No. 9, Sep. 1975, p76-775)等がある。さらに、U.T. Duerig等によるtunnel tipを有するcantilever beam(USP4,831,614)が提案されており、記憶装置等の様々な応用がなされている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、縦変位の静電アクチュエータでは静電引力が印加電圧の2乗に比例しかつ電極間距離の2乗に反比例するために、変位量と印加電圧の関係は非線形性を有する。従来技術についてさらに詳しく説明する。

【0005】図23は従来の静電アクチュエータの斜視図である。この静電アクチュエータは、可動電極1とこの可動電極1に連結された弾性を有するばね2からなり、可動電極1と対向して空隙間隔( $\delta_0$ )の位置に固定電極3が設けられている。この固定電極3は基板4(図24参照)に設けられている。固定電極3と可動電極1との間に電圧(V)を印加することにより、可動電極1と固定電極3との間に静電引力( $F_{el}$ )が働き、可動電極1すなわち静電アクチュエータは変位する。

【0006】図24はこの静電アクチュエータの動作を説明するための図である。固定電極3と可動電極1との間に電圧(V)を印加することにより、ばね2が撓み可動電極1が下方に変位する。印加電圧Vのときの静電アクチュエータ(可動電極1)の自由端面の変位量を $\delta$ 、変位角を $\theta$ とする。図25に印加電圧Vを変位量 $\delta$ との関係を示す。印加電圧Vが大きくなるに従い急激に変位量 $\delta$ が増し、さらに印加電圧Vを上げると静電引力がばね2の復元力に勝り、静電アクチュエータの自由端は基板4に接し、変位量 $\delta$ は $\delta_0$ の値となる。静電引力が復元力に勝る電圧を臨界電圧( $V_c$ )とする。印加電圧Vが臨界電圧 $V_c$ 以下では変位量 $\delta$ は一義的に決まる。印加電圧Vが臨界電圧 $V_c$ 以上では静電アクチュエータの自由端は基板(不図示)に接し、次に、印加電圧Vを下げていくと静電引力と復元力との平衡が保たれる状態に変位する。変位量 $\delta$ の印加電圧Vへの依存は、図25に示すように、極めて線形性が悪く、非線形性を有することになる。このため、静電アクチュエータをアナログ的に動作制御する際には、図25で示す破線部分を用いることになり、アナログ的な変位領域が狭く、かつ印加電圧Vにおけるダイナミックレンジも小さい。さらに、臨界電圧 $V_c$ 近傍にてアナログ制御を行うために制御信頼性が低くなる。特に、印加電圧Vが臨界電圧 $V_c$ 以上と

4

なった場合、機械可動部が基板に衝突し、このために機械可動部が破損する等信頼性の低下があり、回避するためにはさらにダイナミックレンジが狭いものとなっていた。図25に示すアナログ領域を用いて、例えばトンネル電流を計測するScanningtunneling Microscope(STM)を構成する場合、tunnel tipと試料との間の間隔制御領域が狭くなる。さらに、印加電圧と変位量の関係が非線形であるためにコンスタントハイトモードにてトンネル電流を検出する方法が好ましく、低電流モード(トポ像)観察には適さない。このため、計測の際の自由度が低下する。このことはSTMのみに係る問題ではなく、静電アクチュエータによる変位を利用し計測または情報の処理を行う装置に共通する問題である。

【0007】また、静電アクチュエータの可動電極をミラーとして利用する光偏向器及びそれを用いた表示装置等の情報処理装置では、偏向角をアナログ制御する場合、偏向角の有効利用領域が狭いために、光偏向器の前後に配置する光学系の開口数が小さくなりFナンバーを大きく取る必要が生じる。レンズの加工可能な範囲にFナンバーを設定することが困難となる。このために、制御方法から見て光偏向器ではアナログ平衡とならない臨界電圧以上の電圧を印加し電圧依存のないデジタル制御が好ましい。この場合、光偏向器としては、2値表示に留まり偏向角制御は不可能となる。

【0008】2値表示の光偏向器をアレイ化して表示装置として用いる場合、特にテレビジョン装置として用いる場合には、階調表示(8ビット、256階調程度)が課題となる。2値表示にて安定的に多階調表示を行う方法としては、空間光変調器を組み合わせるその面積比で階調を表現する面積変調方式、または空間光変調器に変調を掛ける時間幅で階調を表現するパルス幅変調方式が考えられる。面積変調方式については、例えば8ビット、256階調を表示する場合2値表示の単位画素を256個まとめて1画素とする必要があり、表示画像の空間力が著しく低下してしまう。すなわち、1空間光変調器を1単位素子とすると、16単位素子4方で1画素を表すことになるので、1単位素子のサイズを $10\mu\text{m}$ 角とすると1画素 $160\mu\text{m}$ 角となり、幅3インチの表示装置とした場合でせいぜい500画素程度の解像力しか得られないことになる。より高解像度を目指す場合、表示装置はより大きくなり、半導体フォトリソプロセスを用いて上記表示装置を作製する場合、1基板(S1の1つのウエハ)当たりの表示装置の切り出し数が増えることとなり歩留まり率及び生産数の低下を招き、表示装置の価格上昇につながる。

【0009】一方、パルス幅変調方式においては、同じく8ビット、256階調を表示する場合、フレーム数30Hzを走査するためには $130\mu\text{s}$ ( $1=1/30/256$ )内に1画素走査を行う必要がある。例えば、走査線数が1000本の表示装置においては、1走査線の

走査時間は0.1 $\mu$ s以内になる。また、1走査線分のデータを転送するのに必要なシフトレジスタの転送は、1走査線分の画素数が2000個の場合、1サイクル当たりのシフト時間は0.06ns以内になる。従って、シフトレジスタの駆動周波数は約16GHzとなり、表示装置の画面を分割する等の駆動手段が必要となり、駆動系の負荷が非常に大きくなる。これにより表示装置の駆動用周辺回路のコストアップとなり、上述と同様に表示装置の価格上昇につながる。このため、光偏向器を用いて表示装置に応用する場合、小型でかつ駆動系の負荷の小さい表示装置とするには、光偏向器毎に偏向角を制御し画素毎の階調表現を与えることが望ましい。

【0010】本発明は、上記従来技術の有する問題点に鑑みてなされたものであり、小型かつアレイ化が容易で、変位または変位角と電圧との依存性が略線形性を有し、また、ダイナミックレンジを広く取ることが可能なアナログ制御可能な静電アクチュエータを提供することを目的とするものである。

【0011】また、本発明は、これらの内容を実現した静電アクチュエータを複数平面上に並べたアクチュエータアレイや、各静電アクチュエータを独立に制御することにより、入出力情報を制御する情報処理装置や、偏向角の有効利用領域が広く偏向角制御が容易な光偏向器を提供することを目的としている。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための本発明は、上面に少なくとも一つ以上の固定電極を設けた基板と、該基板上に空隙を介して形成したばね性を有する機械可動部とを有し、前記固定電極に電圧を印加することにより、前記機械可動部を前記固定電極側に空間的に変位させる静電アクチュエータにおいて、前記機械可動部の変位量が増すとそのばね定数を大きくする可変手段を有することを特徴とするものである。

【0013】また、前記可変手段が、前記機械可動部の有効ばね長を変化させるものや、前記機械可動部の有効ばね数を変化させるものである。

【0014】さらに、前記機械可動部が電気導体薄膜からなるものや、少なくとも一つ以上のばねと、該ばねの先端部に連結された、前記固定電極に対向して配置した電気導体薄膜からなる可動電極とで構成されているものとすることができる。

【0015】そして、前記ばねが撓みビームや、捻れビームである。

【0016】本発明のアクチュエータアレイは、複数の本発明の静電アクチュエータと、制御部と、該制御部からの制御信号に基づいて各々の静電アクチュエータが他の静電アクチュエータとは独立に基板との相対的位置を変えるように変位させるための変位手段とを有する。

【0017】本発明の光偏向器は、本発明の静電アクチュエータの可動電極の代りに光偏向板を用いたものであ

る。

【0018】また、光偏向板がばね上に空隙を介して配置されている。

【0019】本発明の情報処理装置は、複数の本発明の光偏向器と、画像情報制御部と、該画像情報制御部からの制御信号に基づいて各々の光偏向器が他の光偏向器とは独立に所望の角度に変位させるための変位手段と、該変位手段からの情報に基づいて画像情報を表示する表示部と、を有する。

【0020】さらに、本発明の情報処理装置は、本発明の静電アクチュエータにおける機械可動部に設けられた、トンネル電流検出用のプローブと、該プローブと表面観察を行う試料との相対的な位置関係を調節する位置調節手段と、前記プローブと前記試料との間にトンネル電流を発生するための電圧を印加する電圧印加手段と、該電圧印加手段によって電圧を印加したときに前記プローブと前記試料との間に流れるトンネル電流を検出するトンネル電流検出手段と、検出されたトンネル電流から情報を処理し表示させる表示手段と、を有する。

【0021】

【作用】上記のとおり構成された本発明の静電アクチュエータでは、基板上に設けられた固定電極に電圧を印加すると、基板上に形成した弾性を有する機械可動部が変形して変位し、その変位量に応じて可変手段により機械可動部のばね定数が増加する。これにより、機械可動部が非線形ばね特性を有することになり、印加電圧と変位量の依存性が略線形特性となる。また、印加電圧のダイナミックレンジが広がる。

【0022】そして、静電アクチュエータに非線形ばね特性を設けることにより、従来のような印加電圧による変位量の狭いアナログ制御領域を、広く取ることが可能であるとともに変位量を大きく取れ、アナログ制御が容易になる。

【0023】

【実施例】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0024】（第1実施例）図1は本発明の静電アクチュエータの第1実施例の斜視図、図2は図1に示した静電アクチュエータの縦断面図、図3は図1に示した静電アクチュエータの動作を説明するための図である。

【0025】図1及び図2に示すように、固定電極13を設けた基板4上に、支持部18により第1空隙16を介して支持した機械可動部14が設けてあり、第2空隙17を介して可変手段としての支点部15が機械可動部14の下部に配置してある。機械可動部14は電気導体薄膜からなり、ばね性を有する。この静電アクチュエータを動作するにあたり、支持部18を介して機械可動部14と固定電極13との間に電圧を印加することにより、機械可動部14は基板4側に変位する。印加電圧を増すと機械可動部14はさらに変形し支点部15の端面

7

(上面)に接触し、接触位置を支点として変形することになる。この動作原理を図3に示す。すなわち、低電圧下では機械可動部の有効ばね長さが(L)であるが、機械可動部が支点部15に接する電圧以上では有効ばね長さが(L)よりも短い(1)となり、ばね定数は変化し大きくなる。

【0026】図4に、応力と機械可動部の自由端先端の変位量の関係を示す。図4における傾きがばね定数の逆数となっており、応力に対してばね定数が変化する非線形ばね特性となっていることが理解されよう。この結果、図5に示すように、従来例の印加電圧と変位量の関係(図中一点鎖線)は実線で示すように線形性が改善されることになる。また、図5から明らかなように、印加電圧の利用できる領域(ダイナミックレンジ)を広く取することも可能となっている。図5では変位量と印加電圧との関係で示したが、変位角と印加電圧の関係も同様となることは理解できよう。

【0027】(第2実施例)図6は本発明の静電アクチュエータの第2実施例の斜視図である。本実施例では、図1の静電アクチュエータにおける機械可動部を、弾性を有するばねとなるビーム22と該ビーム22の先端に連結された電気導電体薄膜である可動電極29とから成るものであり、変形するばねとしてのビーム22自体に電圧が印加されない構成となっている。その他の構成は第1実施例と同一である。可動電極29はビーム22に比べて膜厚を厚くし、変形しにくいようにしてある。このように、機械可動部をビーム22と可動電極29に分離した構成を取ることで、ばね定数を静電引力と独立に定義することが可能となる。

【0028】図7は図6に示した静電アクチュエータの作製工程を説明するための図である。

【0029】空隙は湿式エッチングを用い犠牲層を除去することにより形成する。湿式エッチングにより構造体を形成する方法は、R.N. Thomas 等により提案されている(前述引用文献)。本発明の作製方法では犠牲層としてシリコン酸化膜を用いた。基板24としてシリコン酸化膜を減圧CVD(LPCVD)により膜厚150nm成膜した絶縁層を有するSiの基板24を用いる。まず、基板24上に固定電極23となるポリシリコン膜をLPCVDにより膜厚150nm成膜し、その後、イオン注入法によりリン(P)を $1 \times 10^{16}$  (ions/cm<sup>2</sup>) 注入し、1100℃の窒素雰囲気中で3時間拡散処理を施した。この結果、ポリシリコン膜のシート抵抗は $12 \Omega/\square$  (mm<sup>2</sup>) となった。前記ポリシリコン膜にフォトリソグラフィプロセスを用いてフォトリソグ

8

ラフプロセスを用いて膜厚3 $\mu$ m成膜し、フォトリソグラフィプロセスにてフォトリソグをパターンニングしフッ酸とフッ化アンモニウムの混合水溶液にてエッチング除去し、前記フォトリソグを除去した(図7の(A)参照)。次に、固定電極23と同様の成膜方法を用いて膜厚400nmのポリシリコン膜102を成膜し(図7の(B)参照)、フォトリソグラフィプロセスにてパターンニングし可動電極24、支持部28、可変手段としての支点部25を形成した(図7の(C)参照)。さらに、第2空隙(図1参照)となるシリコン酸化膜103をシリコン酸化膜101と同様の方法により膜厚300nm形成し(図7の(D)参照)、パターンニングを行った後にビーム22となるポリシリコン膜104を、固定電極23にて用いたポリシリコン膜の成膜方法と同様の方法にて膜厚150nm形成した(図7の(E)参照)。このように形成したポリシリコン膜をビーム形状にパターンニングし、シリコン酸化膜101及び103をフッ酸にて除去した(図7の(F)参照)。以上の工程により図6に示す静電アクチュエータを得ることができた。ここで、図5で示した $\delta$ 2はシリコン酸化膜103の膜厚及びビーム22の長さ、支持部28の位置により幾何学的に決定される。このようにして薄膜プロセス及びフォトリソグラフィプロセスにより作製した静電アクチュエータは小型かつアレイ化が容易な構成となっている。

【0030】(第3の実施例)図8は本発明の静電アクチュエータの第3実施例の斜視図である。2つの支持部38を介してそれぞれ基板34に設けられた2つのビーム32の上面には、可動電極39が設けられている。本実施例では図6に示した静電アクチュエータと同様に、変形するビーム自体に電圧が印加されない構成となっている。図6に示した静電アクチュエータにおけるビーム22が撓み変形となるのに対して、図8では各支持部38は支点部35をそれぞれ一体的に備え、後述するようにビーム32は捻れる。このため、可動電極39は両ビーム32の中心軸(回転軸)を中心に回転変位する。図9にてビーム32の、可変手段としての支点部35による動作を説明する。図9は図8におけるA-A断面である。固定電極33に電圧を印加しない場合は、ビーム32は図中の破線で示すように水平状態となり、固定電極33と、両支持部38を介して可動電極39に電圧を印加することにより、両ビーム32は変位角が $\theta$ となる角度にて捻れ、両ビーム32の幅方向の片側端面が支点部35に接触し、ばねの有効長さは(L)から(1)となり、短くなる。すなわち、両ビーム32は、その手前側が矢印Xで示すように下降し、後方側が矢印Yで示すように上昇して捻れる。

【0031】図8で示したばねの捻れにより変位する本発明の静電アクチュエータの実施例の作製工程の一例を

図10の作製工程図を用いて説明する。

【0032】空隙は乾式エッチングを用い犠牲層を除去することにより形成する。乾式エッチングにより静電アクチュエータの下部を除去し変位する構造体を形成する方法はM.A. Cadman 等により提案されている(前述引用文献)。本発明の作製方法では犠牲層としてフォトレジストを用い、基板34としてガラス基板を用いた。基板34上に固定電極33となるA1薄膜を、スパッタリング法により膜厚300nm堆積して形成した。次に、フォトレジスト(不図示)を塗布し、フォトリソグラフィプロセスによりパターニングし、A1をBC1、とC1、との混合エッチングガスにより反応性イオンエッチング法(RIE)によりパターニングを行い、固定電極33を形成した。その後、RIEを用いて酸素プラズマによりA1上部の前記フォトレジストを除去した。次に、フォトレジスト111をスピニングにより3μm塗布し第1空隙となる犠牲層を形成した。フォトレジスト111はヘキスト(Hoechst)社製のボジ型フォトレジストである商品名AZ1350Jを使用した。フォトレジスト111は機械可動部の支持部38(図8参照)を形成するために一部フォトリソグラフィにより除去してある(図10の(A)参照)。フォトレジスト111は所望の厚みとなるように複数回の塗布を行った。次に、ビームとなるA1薄膜112をスパッタリング法により膜厚75nm成膜した(図10の(B)参照)。スパッタリング時の基板ホルダー(不図示)の温度を5℃に設定し、成膜時の熱応力を抑えた。次に、フォトレジスト113をスピニングにより膜厚100nm塗布し、最終的に第2空隙となる犠牲層をパターニング形成した(図10の(C)参照)。この上部にA1薄膜114をA1薄膜112と同様の方法により膜厚300nm成膜した(図10の(D)参照)。最後に、A1薄膜114上にフォトレジスト115をフォトリソグラフィプロセスによりパターニングし(図10の(E)参照)、A1をBC1、とC1、との混合エッチングガスにより反応性イオンエッチング法(RIE)によりパターニングを行い、支持部38、支点部35、可動電極39を形成し、さらにエッチングを続け前記フォトレジスト113をマスクとしてビーム32をパターニングし、その後、RIEを用いて酸素プラズマによりA1薄膜114、112の上部及び下部のフォトレジストをエッチング除去し第1及び第2空隙36、37を形成した。このときのエッチング条件は酸素100ccm以上、エッチング時のガス圧力20Pa以上とし、サイドエッチを大きく取る条件を採用した。以上の作製工程により図8に示す本発明の静電アクチュエータを得ることができた。図7の作製工程では支点部がビーム下部にあったのに対して図10の作製工程では支点部はビーム上部に設けてある。これは捻ればねに特有の構成ではなく、作製工程を簡便にするために行ったものである。本発明の作製工程の特徴とし

てA1薄膜112をパターニングせずに第2空隙となる材料を残し、A1薄膜114をパターニングすることにより、A1薄膜のエッチングプロセスを一度に行うことができ、ビーム及び支点部の3次元構造体を一度に形成することができる点であり、工程が簡便となる。

【0033】上述のように構成された本実施例の静電アクチュエータでは、基板34上に設けられた固定電極33に電圧を印加すると、基板34上に形成した電気導電体からなる可動電極39およびビーム32が変形し、機械可動部のばね部分が空隙を設けて配置した支点部35に接することによりばねの有効長さが変化し変位量に応じてばね定数が増加する。これにより、ばねが非線形ばね特性を有することになり、印加電圧と変位量の依存性が略線形特性となり、印加電圧のダイナミックレンジが広がる。その結果、従来のような電圧による変位量の狭いアナログ制御領域を、広く取ることが可能であるとともに変位量が大きく取れ、アナログ制御が容易になる。

【0034】(第4実施例)上記実施例では、支点部を1つ設けた静電アクチュエータについて述べたが、支点部を複数設けることにより非線形性はさらに改善される。すなわち、図11に第1、第2、第3支点部451、452、453の3つの支点部を設けた静電アクチュエータの第4実施例の縦断面図を示す。支点部の数に伴い個々独立に空隙471、472、473が形成される。このときのビーム22の変位量と印加電圧との関係を図12に示す。図5に比してより線形性に近似でき、さらに印加電圧のダイナミックレンジも増大する。このように支点部を複数設けることにより、本発明の静電アクチュエータのアナログ制御はより容易になった。図11では図6に示すような挽みばねについて説明したが、図8および図9に示した捻ればねについても複数の支点部を設けることで、同様の効果が得られることは言うまでもない。

【0035】(第5実施例)図13は本発明の静電アクチュエータの第5実施例を示す斜視図、図14は図13に示した静電アクチュエータの動作を説明するための図である。

【0036】図13に示すように、本実施例は第1実施例の図6の支点部25をなくし、ビームとして第1ビーム52及び第2ビーム55を設けてあり、有効ばね数を変化させるものである。すなわち、固定電極53を設けた基板54上に支持部58により空隙を介して支持した第1及び第2ビームと可動電極59よりなる機械可動部が設けてあり、可変手段としての第2ビーム55は空隙を介して第1ビーム52下部に配置したある。可動電極59は電気導電体薄膜からなる。本実施例の静電アクチュエータを動作するにあたり、可動電極59と固定電極53に電圧を印加することにより、第1ビーム52は基板54側に引き寄せられ、すなわち機械可動部は基板54側に変



位する。印加電圧が増し第1ビーム52はさらに撓み第2ビーム55の自由端面に接触する。このときのビーム動作を図14を用いて説明する(本発明の動作原理を簡便に述べるために、第1ビームと第2ビームの形状は同等であり、同じばね定数 $k$ を有するものとする)。

【0037】低電圧下では機械可動部のばね定数は $k$ となるが、印加電圧が、第2ビーム55の端面と第1ビーム52とが接する電圧以上では、ビームから成る2つのばねが作用し、有効ばね数は増加し、ばね定数は $2k$ となる。これは図4に示したと同様の応力と可動電極の自由端先端の変位量の関係を示すことになり、図5に示した非線形ばねの印加電圧と変位量の関係になる。ここで、図4の $\delta 2$ は $\delta 5$ となる。

【0038】以上説明したように、ばねの弾性を変位量に応じて変化させることが可能となる。第1ビーム52と第2ビーム55との厚み、長さ、幅等のばね定数を決定する形状因子を個別に制御することにより、自由に図4に示したところの傾きを変えることが可能である。本実施例の静電アクチュエータは図7に示した作製工程で作製することが可能である。また、本実施例の静電アクチュエータにおいても、ビームを複数用いてもよく、ビーム数が増すにつれて変位量と電圧との線形性がより向上することになる。

【0039】以上、各実施例を用いて本発明の静電アクチュエータの構成、動作及び作製工程について説明した。基板として絶縁層を形成したS1及びガラスを用いたが、固定電極が形成可能であればよく、例えばS1等の半導体材料を用いる場合、固定電極としてイオン注入等により不純物導入した拡散層を用いることも可能である。また、作製工程では、第1空隙と第2空隙を形成する材料に同一材料を用いたが、空隙部分を形成するために除去する際に固定電極及び機械可動部を腐食せずに除去することが可能な材料であれば、異種材料を各々の空隙用材料として用いても構わない。各実施例を通じて空隙形成材料としてフォトリソスト及びシリコン酸化膜を用いたが、特にこれに限定されるものではなく、他の空隙形成材料として、TiまたはTiおよびWからなる金属合金薄膜を抵抗加熱蒸着法、電子ビーム蒸着法等の真空蒸着法により成膜し、空隙形成材料の除去に過酸化水素水を用いてエッチング除去することによって同様の本発明の静電アクチュエータを形成することが可能である。また、機械可動部及び固定電極として、Al及びイオン注入にて低抵抗にしたポリシリコン膜を用いたが、空隙形成材料を除去する際にエッチングされない材料であれば、Au, Ni, Pt, Ti, Co, Ag, Cu, Ge, In, Si等の金属、合金、半金属及び低抵抗な電氣的導電性を有する半導体であればいずれを用いることも可能である。さらに、固定電極は機械可動部を変位させるための印加電圧を供給することができればよく、機械可動部が極端に変位し固定電極と接することが

ないように、固定電極上に絶縁層を形成してもよい。また、本発明の第1実施例においては、支点部と機械可動部が同一材料で形成した作製工程を示したが異種材料を用いて作製しても構わない。すなわち、第5実施例において第1ビームをAl等の金属薄膜を用い、第2ビームにシリコン窒化膜、 $Al_2O_3$ 等のヤング率の大きい誘電体薄膜材料を用いれば、第2ビームの弾性を同一厚みにて大きくすることが可能であり、逆にシリコン酸化膜等のヤング率の小さい材料にすることにより、同一厚みにて第2ビームの弾性を小さくする等の所望の非線形ばね特性を形成することが可能である。

【0040】図15は本発明のアクチュエータアレイの上面図、図16はこのアクチュエータアレイの一部のブロック図である。

【0041】図15および図16に示すように、このアクチュエータアレイ820は、図1に示したアクチュエータを2次元的に配列してアレイ化したものであり、各アクチュエータに対して駆動回路400が各別に設けられており、各駆動回路400は、制御回路300からの信号に基づいて各固定電極13と、各機械可動部14との電圧を印加することにより、各々の機械駆動部14を他の機械駆動部14とは独立に変位させることができる。すなわち、制御回路300により各駆動回路400に制御信号が送られ、この信号に基づき各駆動回路400から電圧が各々の静電アクチュエータの固定電極13及び機械可動部14に印加され、静電アクチュエータは基板54との相対的位置を独立して変位させることが可能となる。なお、図15において、破線は各静電アクチュエータの境界を示す仮想線である。

【0042】次に、本発明の静電アクチュエータを用いた情報処理装置の第一の態様である走査型トンネル顕微鏡の説明を行う。

【0043】図17は、本発明の走査型トンネル顕微鏡に用いるカンチレバー型プローブの斜視図、図18は図17に示したカンチレバー型プローブを走査型トンネル顕微鏡に適用した情報処理装置のブロック図である。

【0044】このカンチレバー型プローブ122は、アクチュエータ部分に図13に示した本発明の静電アクチュエータを用い、可動電極69上部の第1ビーム62にトンネル電流検出用の探針61を設けたものである。探針61の作製は、Pt, Rh, W等の金属片を接着して形成する、あるいは米国特許第4,906,840号に示されたシャドウマスクを用いて金属を蒸着して作製する等の方法を用いて行った。符号64は、本発明のカンチレバー型プローブ122を形成したシリコンの基板、符号125は基板64をZ方向(図17中、上下方向)に駆動する粗動用圧電素子、符号135は粗動用圧電素子125及びカンチレバー型プローブ122を試料表面に接近させる接近機構、符号123は表面観察する導電性の試料で、符号124は試料123をXY方向に微動

する位置調整手段としてのXY微動機構である。

【0045】本発明の走査型トンネル顕微鏡の動作を以下に説明する。接近機構135は、Z方向の移動ステージからなり、手動またはモーターにより、カンチレバー型プローブ122の探針61が試料123の表面に粗動用圧電素子125のストローク内に入るように接近させる。その際、顕微鏡を用いて、目視により接近の程度をモニターするか、もしくはカンチレバー型プローブ122にサーボをかけた状態でモーター（不図示）により自動送りを行い、探針61と試料123間にトンネル電流が流れるのを検出した時点で接近を停止する。試料123の観察時には、電圧印加手段としてのバイアス回路126によりバイアス電圧をかけられた試料123と探針61との間に流れるトンネル電流をトンネル電流検出回路127により検出し、Z方向サーボ回路130を通じてカンチレバー型プローブ122にトンネル電流が一定となるように電圧を印加し、カンチレバー型プローブ122をZ方向に制御している。すなわち、Z方向サーボ回路及び本発明のアクチュエータによりカンチレバー型プローブと試料の位置調整を行う可能となる。

【0046】その状態でXY微動駆動機構124をXY微動駆動回路123でXY方向に走査することにより、試料123の表面の微小な凹凸により変化したサーボ電圧が検出され、それを制御回路132に取り込み、XY走査信号に同期して処理すれば定電流モードのSTM像（トポ像）が得られる。STM像は、画像処理、例えば2次元FFT等の処理をして表示手段としてのディスプレイ134に表示される。その際、装置の温度ドリフト、試料123の表面の凹凸、傾きが大きく、カンチレバー型プローブ122のストローク範囲での追従ができない場合には、粗動用圧電素子125を用いてトンネル電流検出回路127の信号をZ方向粗動駆動回路131を通じて、0.01~0.1Hz程度の帯域のフィードバックを行い、Z方向の大きな動きに追従するように制御している。また、観察場所を変えるときは、試料側のXY微動機構124をXY微動駆動回路133によりXY方向に移動させ、所望の領域にカンチレバー型プローブ122がくるようにして観察を行う。本発明の静電アクチュエータでは探針61の変位量と電圧との線形がよく、従来の静電アクチュエータでは検出したサーボ電圧を試料表面の凹凸データに変換する際、非線形性によるデータ変換誤差及び処理の煩雑さを回避でき、定電流モードの観察が可能となった。また、非線形ばねを用いた静電アクチュエータでは臨界電圧を高く取れると同時に変位量を大きく取ることが可能となるために（図5及び図12参照）、従来の静電アクチュエータを用いた走査型トンネル顕微鏡に比べて試料表面の凹凸に対するZ方向の有効観察範囲が増す。また、試料表面の微小な凹凸により変化したトンネル電流を検出するコンスタントハイトモードにおいても、本発明の走査型トンネル電流顕

微鏡が対応できることは言うまでもない。本発明の走査型トンネル顕微鏡を用いることにより、試料観察を正確にかつ安定して行うことが可能になった。

【0047】次に、本発明の静電アクチュエータを用いた情報処理装置の第二の態様である画像表示装置の説明を行う。

【0048】図19は本発明の画像表示装置に用いる光偏向器の一例を示す図、図20は図19に示した光偏向器を複数2次元的に配列した、画像情報の表示を行う画像表示装置の上面図、図21は図20に示した画像情報装置のブロック図である。

【0049】図19に示すように、光偏向器81は図6の静電アクチュエータと同様に支点部75によりビーム72の長さが変化する機構を用いた静電アクチュエータと可動電極となるミラー79よりなる。ミラー79はビーム72の自由端に接続し折れ曲がることにより光偏向器の開口率を向上している。駆動電極73に電圧を印加することにより、ミラー79は基板74側に静電引力を受け、これによりビーム72は支持部78を固定点として基板74に対して上側に撓む。印加する電圧が上昇すると支点部75によりばねとしての有効な長さが変化する非線形ばねの特性を示すことになる。従来の静電アクチュエータを用いた光偏向器ではミラーの固定点、すなわち、ミラーとビームとの連結部の位置は基板側に変位するか無変位であったが、本発明の光偏向器81では前記連結部が上方に変位する点に注目してもらいたい。これにより変位する角度は実行的に増すこととなる。

【0050】図20および図21に示すように、光偏向板としてのミラー79のみが見られ、支点部およびビーム、駆動電極等は光偏向板下部に隠れ図示されていない。これにより、ビーム面からの反射光が無くミラー79による反射光に対するノイズ光成分を低減している。また、駆動電極と支持部を介してミラー79に個々独立して電圧印加が行えるように電極配置がなされ、各駆動電極は偏向角制御のための駆動回路248に接続してある。表示する画像情報の画像信号に応じて制御回路247により各々の光偏向器を変位させる駆動回路248に制御信号を送り、駆動回路248からの駆動電圧に基づき各光偏向器が変位する。これにより、ミラー79は各々独立して変位することが可能となり、独立に光の偏向及び偏向角を制御することが可能となっている。すなわち、各々のミラー79の下部には図には示していないが独立に駆動電極（固定電極）が配置してあり個々の光偏向器81は独立に光の偏向及び偏向角を制御することが可能となっている。各駆動電極にトランジスタを設置しゲート電圧によりミラーと駆動電極との印加電圧を制御できる。なお、図20において、破線は光偏向器81の境界を示す仮想線である。

【0051】図22に図20に示した本発明の画像表示装置の投射型ディスプレイに応用した際の光学系の一例

を示す。

【0052】上述したように、表示する画像情報の画像信号に応じて制御回路247により各々の光偏向器を変位させる駆動回路248に制御信号を送り、駆動回路からの駆動電圧に基づき光偏向器が変位する。これにより、照明系242からの光を画像表示装置82により、所望の画像データを各ミラー（不図示）により立体角 $\phi$ にて反射し、投射レンズ243及び絞り244を介してスクリーン245に投影する。本発明の光偏向器81

（図19参照）は非線形ばねを用いることにより偏向角 $\Omega$ をアナログ制御することが容易になる。ミラーの偏向角 $\Omega$ を変えることにより絞りを通じて投射レンズ243に入射する立体角 $\phi$ が減少しスクリーン245上の投影された部分での光量に変化する。偏向角 $\Omega$ をアナログ的に変化できることで、画像として見た場合にスクリーン245上にて階調表示を行うことが可能となる。すなわち、本発明の光偏向器81（図19参照）を用いた画像表示装置により、一画素が一ミラーからなる各画素毎に階調表示が可能な投射型ディスプレイが作製できた。また、図19の光偏向器を1次元にアレイ化し、スクリーンに変わり感光体ドラムを配置することにより、表示装置の静電印刷への応用が可能となる。静電印刷は従来と同様の方法を用いて画像形成を行えばよく、感光体ドラム上に結像する光の光量が調整でき、階調表現可能な高速の印字速度を有する静電印刷を提供できる。

【0053】

【発明の効果】本発明は、以上説明したとおり構成されているので、以下に記載するような効果を奏する。

【0054】小型でアレイ化が容易な構成であり、機械可動部が変位した変位量に応じて弾性ばねの弾性が変化することにより、印加電圧と変位量の依存性が略線形特性となり、さらに変位量及び印加電圧のダイナミックレンジを広く取れ、アナログ制御が可能となる。

【0055】また、個々の光偏向器を独立に光の偏向及び偏向角を制御することが可能となり、さらに、アナログ制御が容易になったことにより、信頼性の高い情報処理を行うことが可能となり、その結果、小型で安価な情報処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の静電アクチュエータの第1実施例の斜視図である。

【図2】図1に示した静電アクチュエータの縦断面図である。

【図3】図1に示した静電アクチュエータの動作を説明するための図である。

【図4】図1に示した静電アクチュエータの応力と変位量の関係を示すグラフである。

【図5】図1に示した静電アクチュエータの印加電圧と変位量の関係を示すグラフである。

【図6】本発明の静電アクチュエータの第2実施例の斜

視図である。

【図7】図6に示した静電アクチュエータの作製工程を示す図である。

【図8】本発明の静電アクチュエータの第3実施例の斜視図である。

【図9】図8に示した静電アクチュエータのビームの捻れ動作を説明するための図である。

【図10】図8に示した静電アクチュエータの作製工程を示す図である。

【図11】本発明の静電アクチュエータの第4実施例の縦断面図である。

【図12】図11に示した静電アクチュエータの印加電圧と変位量の関係を示すグラフである。

【図13】本発明の静電アクチュエータの第5実施例の斜視図である。

【図14】図13に示した静電アクチュエータの動作を説明するための図である。

【図15】本発明のアクチュエータアレイの一実施例の上面図である。

【図16】図15に示したアクチュエータアレイのブロック図である。

【図17】本発明に係わるカンチレバー型プローブの斜視図である。

【図18】図17に示したカンチレバー型プローブを走査型トンネル顕微鏡に応用した情報処理装置のブロック図である。

【図19】本発明の光偏向器の一実施例の斜視図である。

【図20】図19に示した光偏向器を複数2次元的に配列した、画像情報の表示を行う情報処理装置の上面図である。

【図21】図20に示した情報処理装置のブロック図である。

【図22】図20の画像表示装置を投射型ディスプレイに応用した例を示す図である。

【図23】従来の静電アクチュエータの斜視図である。

【図24】従来の静電アクチュエータの動作を説明するための図である。

【図25】従来の静電アクチュエータの印加電圧と変位量の関係を示すグラフである。

【符号の説明】

1, 29, 39, 44, 59, 69 可動電極  
2 ばね  
4, 24, 34, 54, 64, 74 基板  
3, 13, 23, 33, 34, 43, 53, 63 固定電極  
14 機械可動部  
15, 25, 35, 75 支点部  
16, 36, 46 第1空隙  
17, 37, 47 第2空隙

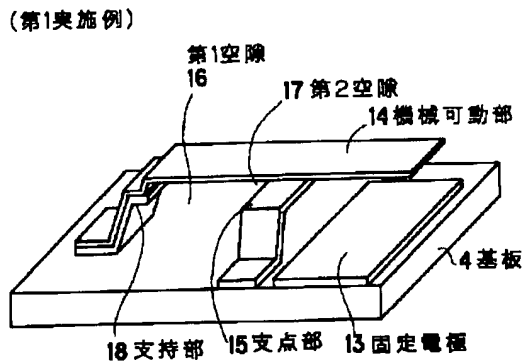
17

4 7 2	第3空隙	
4 7 3	第4空隙	
1 8, 2 8, 3 8, 4 8, 5 8, 6 8, 7 8		支持部
2 2, 3 2, 7 2	ビーム	
5 2, 6 2	第1ビーム	
5 5, 6 5	第2ビーム	
6 1	探針	
7 3	駆動電極	
7 9	ミラー	
8 1	光偏向器	
8 2	画像表示装置	
1 0 1, 1 0 3	シリコン酸化膜	
1 0 2, 1 0 4	ポリシリコン膜	
1 1 1, 1 1 3, 1 1 5	フォトレジスト	
1 1 2, 1 1 4	Al 薄膜	
1 2 2	カンチレバー型プローブ	
1 2 3	試料	
1 2 4	XY微動機構	
1 2 5	粗動用圧電素子	

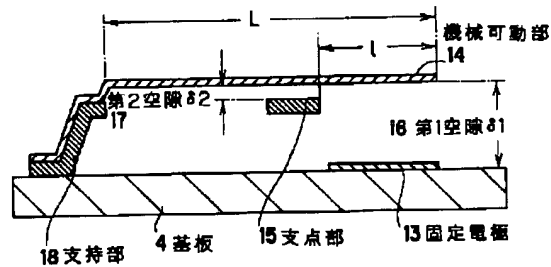
18

1 2 6	バイアス回路
1 2 7	トンネル電流検出回路
1 3 0	Z方向サーボ回路
1 3 1	Z方向粗動駆動回路
1 3 2	制御回路
1 3 3	X Y微動駆動回路
1 3 4	ディスプレイ
1 3 5	接近機構
2 4 2	照明系
10 2 4 3	投影レンズ
2 4 4	絞り
2 4 5	スクリーン
2 4 6	表示部
2 4 7	制御回路
2 4 8	駆動回路
3 0 0	制御回路
4 0 0	駆動回路
5 0 0	画像情報制御部
8 2 0	アクチュエータアレイ

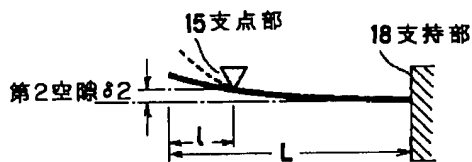
【图 1】



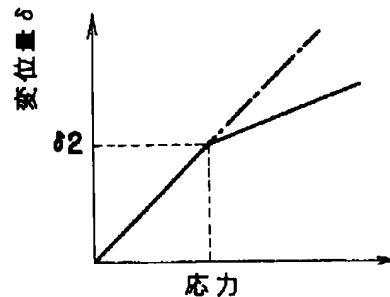
【図 2】



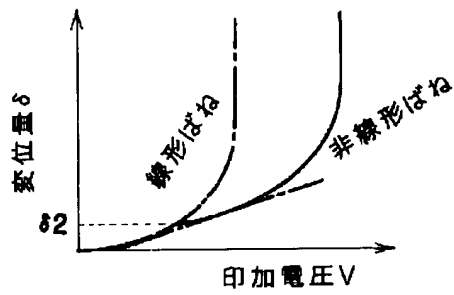
【图 3】



【图4】

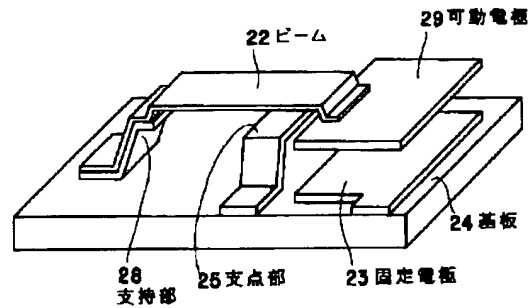


【図5】

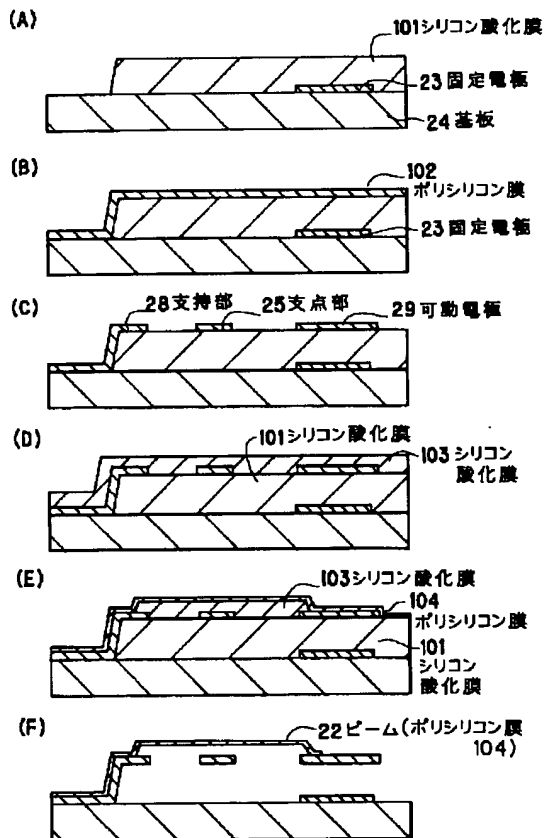


【図6】

(第2実施例)

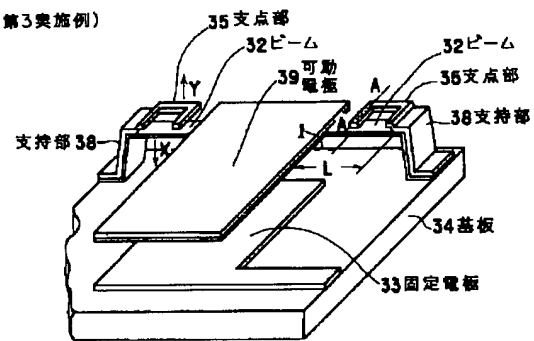


【図7】



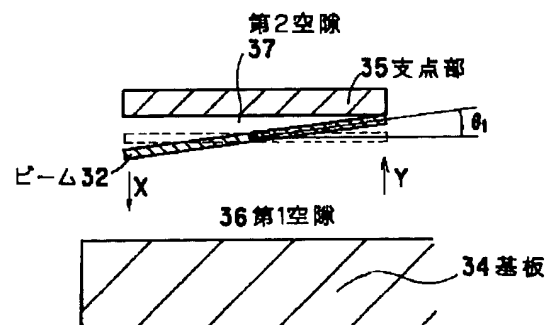
【図8】

(第3実施例)

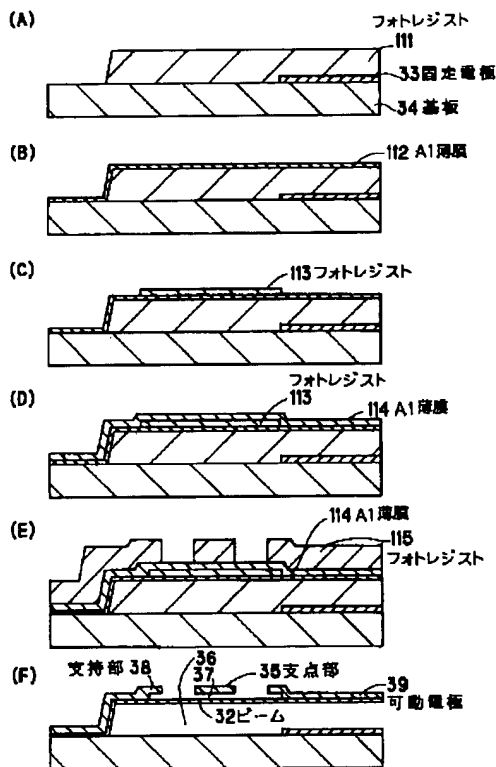


【図9】

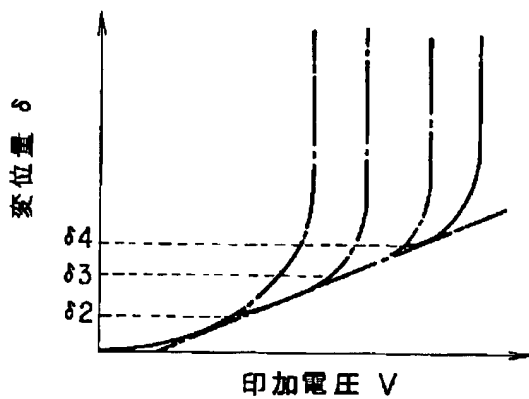
A-A断面図



【図10】

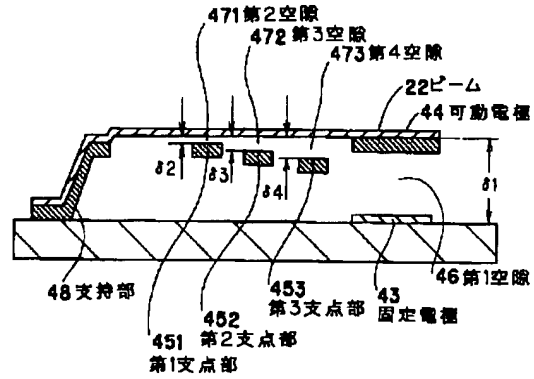


【図12】



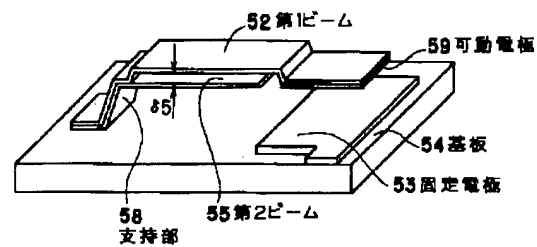
【図11】

(第4実施例)

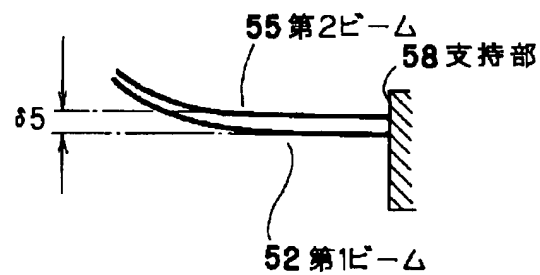


【図13】

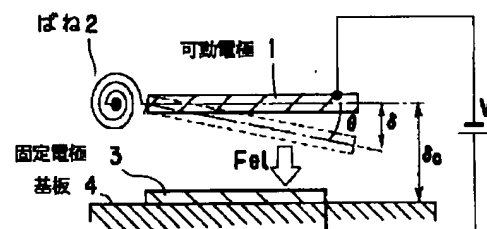
(第5実施例)



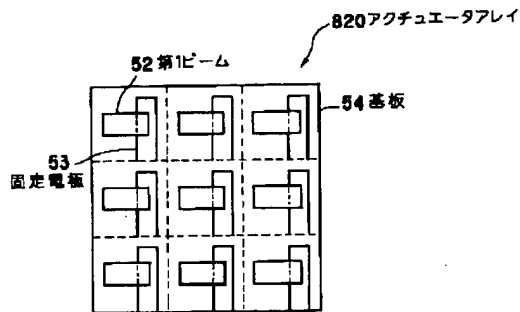
【図14】



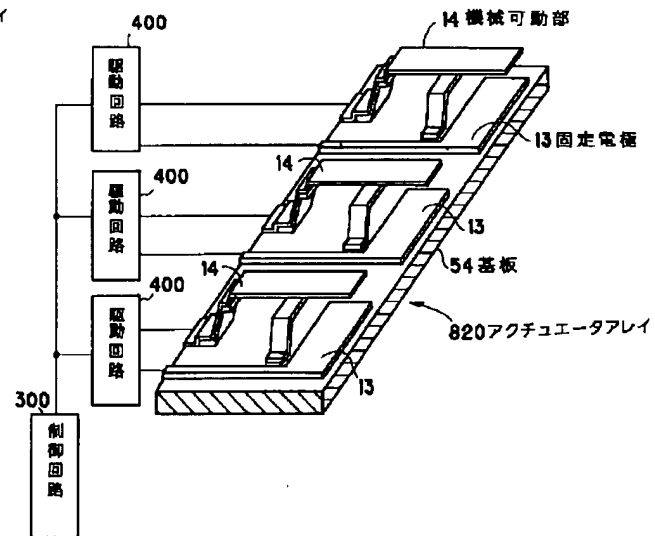
【図24】



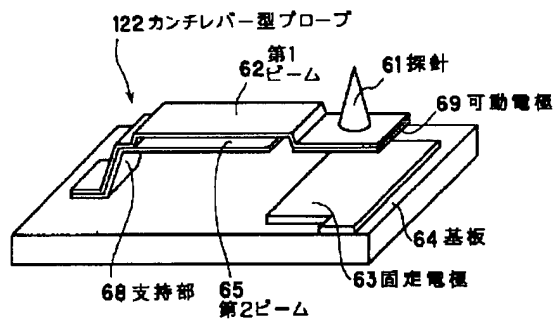
【図15】



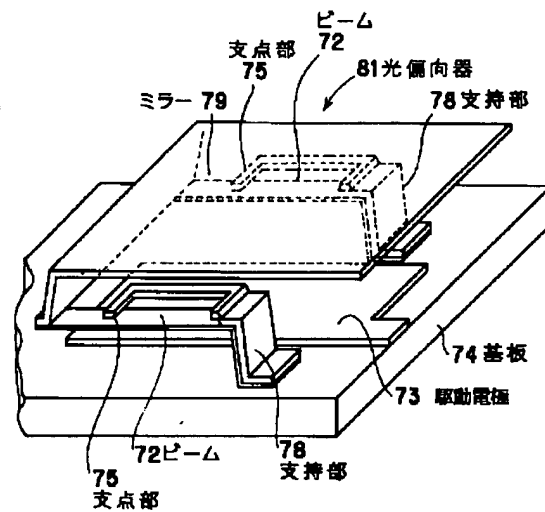
【図16】



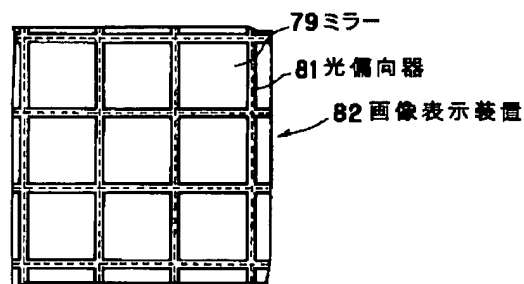
【図17】



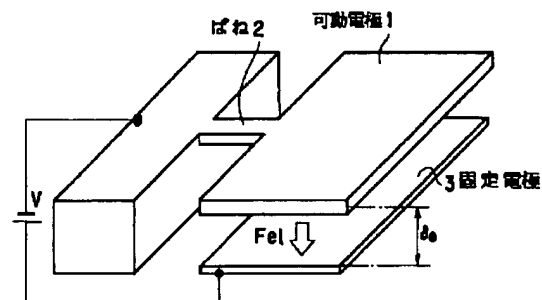
【図19】



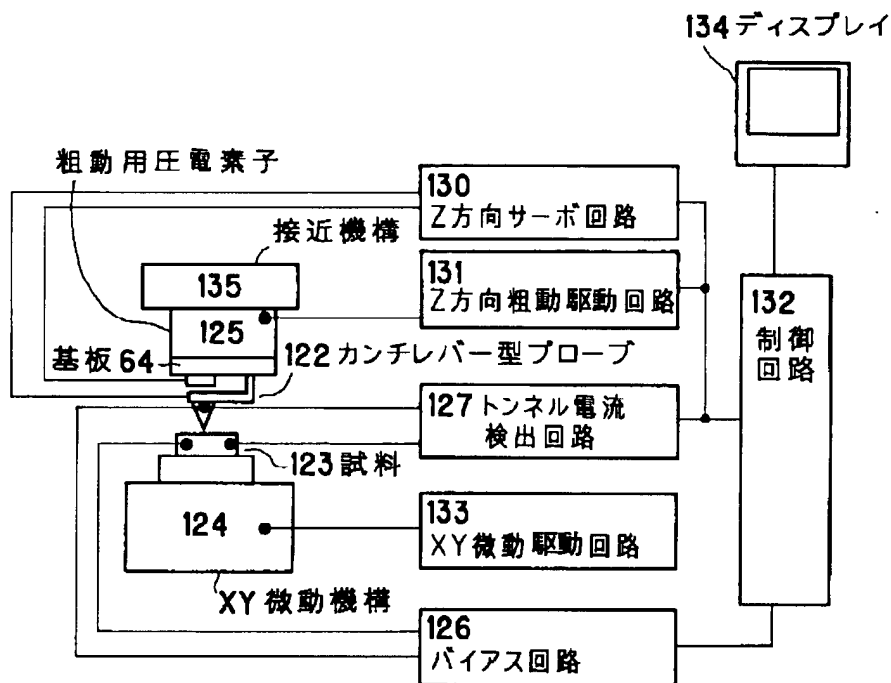
【図20】



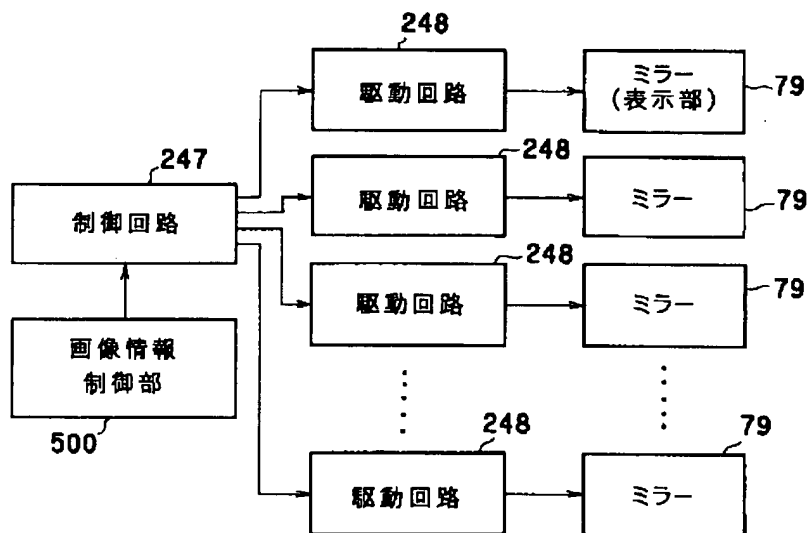
【図23】



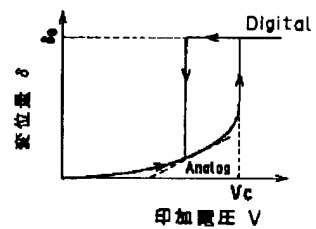
【図18】



【図21】

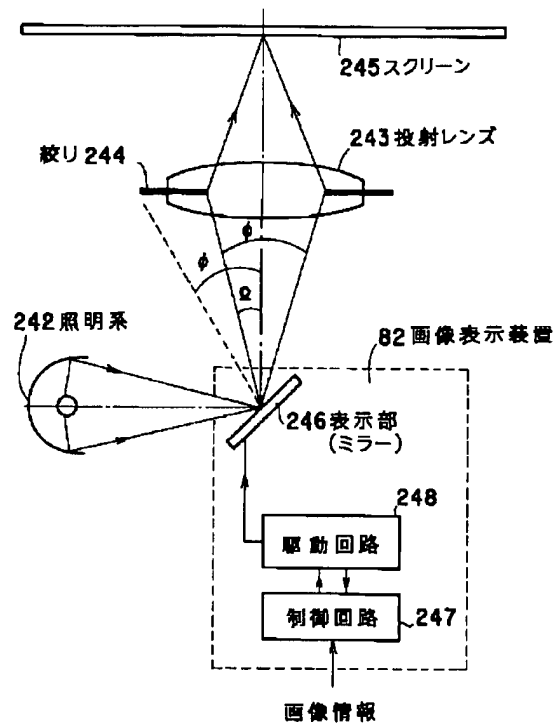


【図25】





【図22】



フロントページの続き

(72)発明者 中山 優

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(72)発明者 高木 博嗣

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内